

**Prácticas de Laboratorio de Máquinas Eléctricas para el Análisis de la
Eficiencia**

NARCISO ANTONIO CASTRO CHARRIS



**Universidad de la Costa CUC
Departamento de Ingenierías
Programa de Ingeniería Eléctrica
Barranquilla**

2017

**Prácticas de Laboratorio de Máquinas Eléctricas para el Análisis de la
Eficiencia**

NARCISO ANTONIO CASTRO CHARRIS

Trabajo para optar el título de Ingeniero Eléctrico

PhD. VLADIMIR SOUSA SANTOS

PhD. HERNÁN HERNÁNDEZ

Tutores

Universidad de la Costa CUC

Departamento de Ingenierías

Programa de Ingeniería Eléctrica

Barranquilla

2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Barranquilla, mayo 22 de 2017

Dedicatoria

A Dios por darme la sabiduría para lograr todos mis objetivos personales y profesionales.

A mis padres (q.e.p.d.) por ser el pilar fundamental de mi vida y por su educación basada en principios y valores.

A mí amada compañera Rosario por darme fuerzas y brindarme su apoyo incondicional permanentemente para alcanzar mi sueño de ser Ingeniero Eléctrico.

Agradecimientos

A mis tutores de trabajo de grado, doctor en ingeniería eléctrica Vladimir Sousa e Ingeniero Hernán Hernández, por sus aportes bibliográficos y su sapiencia fueron maestros-guía en este proyecto para llevarlo al puerto del conocimiento.

Al ingeniero Jorge Balaguera Mantilla por sus consejos profesionales a la hora de resolver dudas.

A la Universidad de la Costa y su cuerpo docente de alta calidad, los cuales me entregaron los conocimientos académicos para ser un profesional de la Ingeniería Eléctrica y así alcanzar mis metas.

Cita:

“Me lo contaron y lo olvidé, lo vi y lo entendí, lo hice y lo aprendí”

Confucio.

Contenido

Lista de tablas y figuras.....	viii
Introducción.....	1
Definición del problema.....	2
Hipótesis.....	2
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
Tareas de investigación.....	4
Resultados esperados.....	4
Capítulo 1	5
Importancia de las prácticas de laboratorio.....	5
Prácticas de laboratorio en la asignatura de máquinas eléctricas de la CUC.....	9
Importancia del análisis de la eficiencia energética en motores eléctricos	13
Capítulo 2	20
Prácticas de laboratorio de máquinas eléctricas en universidades nacionales	20
Prácticas de laboratorio de máquinas eléctricas en universidades interacionales	23
Laboratorios de investigación sobre eficiencia energética.....	29
Capítulo 3	31
Resumen de las prácticas que se necesitan.....	31
Recursos necesarios.....	32
Análisis económicos de la implementación.....	32
Propuesta de práctica de laboratorio de máquinas eléctricas.....	35

Conclusiones.....	43
Recomendaciones.....	44
Referencias.....	45
Anexos.....	49

Lista de tablas y figuras

Tablas

Tabla 1.1 Título de las prácticas de máquinas eléctricas y sus objetivos.....	10
Tabla 2.1 Consumo de energía por motores de inducción hasta 300 kW.....	19
Tabla 3.3 Cotización.....	33
Tabla 4.3 Ejemplo datos obtenidos prueba motor Baldor 1.5 hp.....	38
Tabla 5.3 Datos factor de carga - eficiencia fabricante - eficiencia medida.....	38

Figuras

Figura 1.1 Laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad de la Costa CUC.....	9
Figura 1.2 Alumnos en práctica de laboratorio de máquinas eléctricas Universidad de la Costa.....	10
Figura 2.3 Fotografía laboratorio de máquinas eléctricas UIS	21
Figura 2.4 Fotografía laboratorio de máquinas eléctricas de la UIS. Motores acoplado.....	21
Figura 2.5 Los estudiantes del semillero de electrónica, potencia y máquinas eléctricas desarrollan investigaciones en los laboratorios de la Universidad Autónoma de Occidente UAO.....	22
Figura 2.6 Laboratorio de máquinas y mediciones Universidad Nacional de Medellín.....	23
Figura 2.7 Laboratorios Universidad de Michigan.....	24
Figura 2.8 Laboratorios DHA Suffa University. Pakistan	27
Figura 2.9 Dr. Wei Wang y el dr. Babak Fahimi, director del laboratorio de tecnología renovable y vehículos (REVT).....	28

Figura 3.10 Curva de carga contra eficiencia fabricante de la tabla 5.....	39
Figura 3.11 Curva de carga contra eficiencia medida de la tabla 5.....	39

Resumen

En este trabajo se realiza una propuesta de desarrollo para el laboratorio de máquinas eléctricas del programa de ingeniería eléctrica de la Universidad de la Costa, enfatizado en la eficiencia energética. El trabajo se fundamenta en las normas, en la literatura especializada y en experiencias de instituciones universitarias a nivel local, nacional e internacional que abordan la importancia de las prácticas de laboratorio y de máquinas eléctricas en términos pedagógicos. Se hace un análisis de las prácticas de máquinas eléctricas que se desarrollan actualmente y se contrasta con las proyectadas con base al análisis energético. Por último se describe la propuesta del proyecto de prácticas del laboratorio de máquinas eléctricas que consistirá en la adquisición de nuevos equipos que permitirá realizar análisis de eficiencia energética en escenarios como cargas parciales y problemas de calidad de energía. La propuesta constituye un aporte a la mejora del programa de ingeniería eléctrica y al desarrollo de proyectos de investigación.

Palabras clave: Maquinas Eléctricas, Eficiencia Energética, Practicas de Laboratorio, Normas

Abstract

In this work, a development proposal for the electrical machine laboratories of the electrical engineering program of the University of the Coast, emphasizing energy efficiency, is made. The work is based on standards, specialized literature and experiences of university institutions at local, national and international level that address the importance of laboratory practices and electrical machines in pedagogical terms. An analysis of the practices of electric machines that are currently being developed is made and contrasted with those projected based on the energy analysis. Finally, we describe the proposal of the project of practices of the laboratory of electrical machines that will consist in the acquisition of new equipment that will allow to perform analyzes of energy efficiency in scenarios like partial loads and problems of energy quality. The proposal constitutes a contribution to the improvement of the electrical engineering program and the development of research projects.

Keywords: Electric Machines, Energy Efficiency, Laboratory Practice, Standards

Introducción

La Universidad de la Costa - CUC, se creó el 16 de Noviembre de 1970 para la formación de profesionales en el área de la ciencia, la tecnología, las humanidades, el arte y la filosofía. Su personería jurídica fue otorgada el 23 de abril de 1971, mediante la Resolución No. 352 de la Gobernación del Atlántico. (<https://www.cuc.edu.co/universidad/presentacion/historia>)

En la década de los años 90 el Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior ICFES, autoriza el funcionamiento del programa de Ingeniería Eléctrica. Posteriormente mediante la resolución No 3320 del 25 de abril de 2011, obtiene su registro calificado con el propósito de formar profesionales en Ingeniería Eléctrica con una ética clara y definida, conocimientos actualizados, capacidad de discernir, que les permita llevar a cabo la concepción, diseño, construcción, operación y mantenimiento de sistemas eléctricos en generación, transmisión, distribución y control. Todo esto considerando el uso eficiente de la energía eléctrica y la conservación del medio ambiente. Dentro del programa de la carrera, las prácticas de laboratorios de Máquinas Eléctricas, contribuye a que el futuro Ingeniero Eléctrico, fundamente su formación profesional en el análisis, funcionamiento, conexión y comportamiento de las máquinas.

Definición del Problema

La Universidad de la Costa trabaja en función del perfeccionamiento continuo de la calidad de los programas académicos. Como parte de esta estrategia se impone el mejoramiento sistemático de los laboratorios para facilitar los procesos de enseñanza aprendizaje y la adquisición de las competencias necesarias por parte de los estudiantes.

El programa de ingeniería eléctrica de la CUC, tiene definido entre sus perfiles de competencia el uso eficiente de la energía, siendo las máquinas eléctricas uno de los equipos de mayor importancia debido a su impacto en el consumo energético del sector industrial, residencial y terciario. Aunque en la actualidad la institución cuenta con un laboratorio de máquinas que permite a los estudiantes adquirir todas las competencias de la asignatura, este no presenta todos los medios necesarios para profundizar en el análisis de la eficiencia.

Hipótesis

Es posible desarrollar un proyecto de mejora del laboratorio de máquinas eléctricas de la CUC, que permita a los estudiantes profundizar en las competencias necesarias para el análisis del uso eficiente de los motores eléctricos trifásicos y monofásicos.

Objetivo General

Desarrollar una propuesta de mejora, para los laboratorios de máquinas eléctricas del programa de ingeniería eléctrica de la Universidad de la Costa, que permita la profundización en el análisis de la eficiencia energética de los motores eléctricos.

Objetivos Específicos

1. Caracterizar el estado actual del laboratorio de máquinas eléctricas de la CUC y las prácticas que se realizan.
2. Analizar la importancia de la evaluación de la eficiencia energética de las máquinas eléctricas.
3. Identificar las condiciones necesarias para el desarrollo de prácticas de laboratorios que permitan a los estudiantes profundizar en las competencias requeridas para el análisis de la eficiencia de motores.
4. Desarrollar la propuesta de mejora del laboratorio para incorporar el análisis energético de los motores.

Tareas de Investigación

1. Revisión bibliográfica sobre las prácticas de laboratorio de máquinas eléctricas con énfasis en eficiencia energética que se realizan en instituciones universitarias avalada por su alta calidad.
2. Descripción de las prácticas de laboratorio que se realiza actualmente y los medios que se emplean.
3. Intercambio de información con instituciones acreditadas del país sobre las prácticas de laboratorio de máquinas eléctricas que realizan y que consideran el análisis de la eficiencia energética del motor.
4. Análisis económico de diferentes variantes para la obtención de la más adecuada.

Resultados Esperados

Brindarle al programa de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de la Costa una propuesta fundamentada para la mejora de los laboratorios de máquinas eléctricas apoyado en la adquisición de nuevos equipos que permitan a los estudiantes profundizar en el análisis de la eficiencia energética.

Capítulo 1

Importancia de las prácticas de laboratorios

Un propósito fundamental de los trabajos prácticos en laboratorio es fomentar en el estudiante una enseñanza más activa, participativa e individualizada, de donde se genere el método científico y el espíritu crítico de cada uno partiendo de que de esta forma le favorece al alumno para el desarrollo de habilidades, aprenda técnicas nuevas y se familiarice con el manejo de equipos, instrumentos y aparatos que conforman cada práctica. En orden de ideas se realiza una evaluación de los principales aspectos que justifican los beneficios que el trabajo práctico aporta a la educación. Así mismo realiza una revisión de los objetivos que tienen los docentes al momento de proponer una actividad experimental se concluye que no hay un punto en común entre el tipo actividad y los objetivos; por eso se propone que pueden considerarse cinco categorías generales que son: la motivación, las técnicas de laboratorio, el aprendizaje de conocimientos científicos, el enfoque en el método científico y por ultimo para desarrollo de actitudes científicas (Hodson, 1994). Con las prácticas de laboratorio se persigue es activar un cambio conceptual que cada uno de estos ensayos le proporcionan a los estudiantes permitiéndole ver esos conceptos teóricos con un enfoque profundo o en términos científicos a partir de los fenómenos que en términos teóricos no permiten ser observables. Por ejemplo: Si a un estudiante de ingeniería eléctrica se le explica teóricamente el fenómeno de la inducción electromagnética y además un conductor cuando es atravesado por un potencial eléctrico, alrededor de él se forma un campo magnético; tal vez entiende, pero comprenderá más este fenómeno si le muestra en laboratorio: un conductor con potencial que pase a través de una

pinza amperimétrica y le quede demostrado que sin haber contacto físico alguno entre pinza-conductor, indicara en su tablero digital la corriente que en ese instante lo atraviesa.

En una revisión bibliográfica de Barbera & Valdez (1996) que abarca la década de los años sesenta se evidencia una diferencia entre los objetivos que proponen para el trabajo práctico investigadores, diseñadores curriculares, profesores y alumnos en los distintos niveles educativos. Mientras que profesores e investigadores proponen como objetivos principales el descubrir las leyes a través de la experiencia, el adiestrar a los estudiantes en la realización de informes experimentales y en la confección de un diario de laboratorio, o el servir de motivación para mantener el interés en el estudio de las ciencias, la visión de los estudiantes acerca del papel que cumple el trabajo practico en su instrucción es bastante diferente. Según los resultados del informe de 1969 de la Comisión sobre la enseñanza en la educación superior del Sindicato Nacional de Estudiantes de Inglaterra, los objetivos del trabajo práctico son el aprendizaje de técnicas experimentales y el refuerzo de las clases teóricas, objetivos que los profesores consideran poco prioritarios. (p.366)

La idea es que no se reste importancia a las prácticas de laboratorio dentro de los currículos y “muchos educadores utilizan las prácticas de laboratorio como si fuera algo común o el desarrollo de una clase magistral corriente y no le dan el valor que esta representa en términos pedagógicos” (Hodson, 1994, p.304).

El estudiante de ingeniería al realizar las prácticas de laboratorio no se enfoca precisamente en aprender algún método de la ciencia, ni tener una destreza para utilizar algún tipo de técnicas. Lo que se persigue es que empleen métodos y procedimientos científicos para investigar o sustentar los fenómenos y resolver problemas. Ellos deben según Hodson (1994) usar un modelo teórico soportado y para esto se debe tener en cuenta lo siguiente:

1. Una fase de diseño y planificación durante la cual se hacen preguntas, se formulan hipótesis, se idean procedimientos experimentales y se seleccionan técnicas.
2. Una fase de realización en la que se ponen en práctica varias operaciones y se recogen datos.
3. Una fase de reflexión en la que se examinan e interpretan los hallazgos experimentales desde distintas perspectivas teóricas.
4. Una fase de registro y elaboración de un informe en la que se registran el procedimiento y su razón fundamental, así como los distintos hallazgos conseguidos, las interpretaciones y las conclusiones extraídas para uso personal o para comunicarlas a otros (p.308).

En los programas de la “Ingeniería Eléctrica un laboratorio bien diseñado es una valiosa herramienta que refuerza la enseñanza y en él los alumnos pueden lograr una mayor comprensión, imposible de lograr por otros medios” (Durango, 2015, p.12).

La ingeniería es una profesión con un elevado nivel práctico en donde el saber hacer es un punto clave, donde los futuros ingenieros tienen que combinarlo con modelos matemáticos (base de la Ingeniería) para poder diseñar, analizar y construir es decir “aprender haciendo” (Montes, 2004, p.1).

Un ejemplo de aplicación de la importancia de estas prácticas de laboratorio se da en “la primera escuela de ingeniería en Estados Unidos en West Point, para formar ingenieros militares, la cual apoyó sus planes de estudios en procesos de investigación y desarrollo en prácticas de laboratorios para aplicar la ciencia a la vida cotidiana” (Feisel y Rosa, 2005, p.122).

La formación del ingeniero no sería completa sin las prácticas del laboratorio, lo que ha sido una parte importante de su educación profesional y es el lugar activo del aprendizaje.

Según Sandeep (2016):

Los estudiantes aprenden en un entorno del mundo real, funcionan como miembros del equipo, discuten la planificación de experimentos y comparten ideas sobre el análisis y la interpretación de los datos. Gran parte del estudio de ingeniería es en el laboratorio y exige el uso activo del conocimiento y la habilidad. (p.1).

En la educación la teoría es fundamental pero el hacer práctico es importante, su objetivo es demostrar lo teórico e investigar a través de ejercicios reales hasta alcanzar un aprendizaje y profundizar en el conocimiento con ayudas tecnológicas actuales; por ejemplo en un artículo de la Universidad de Stanford sobre el papel del laboratorio en la carrera de Ingeniería manifiestan que “con la llegada del internet, el desarrollo de una simulación de programas en computadoras y el creciente número de programas de ingeniería en línea de pregrado, juntos se combinan para enfocar la atención a los laboratorios” (Feisel y Rosa, 2015, p.126).

Actualmente para aprender sobre el comportamiento de las maquinas eléctricas y su influencia en la red de alimentación se requiere un profundo conocimiento y experiencia. Por lo tanto, esto sugiere que la instrucción de laboratorio debe ser un componente integral de un currículo de electrónica de potencia y máquinas eléctricas en las instituciones universitaria para que el alumno de ingeniería pueda comprender los conceptos avanzados y la aplicación de ellas al sector industrial. El estudio de las máquinas eléctricas requiere demostración práctica para que los estudiantes aprendan el flujo de energía y los conceptos de conversión de energía intuitivamente. Esto sugiere que la instrucción de laboratorio tiene un gran valor como un

componente de un plan de estudios de electrónica de potencia y máquinas eléctricas. (Balog, et. al., 2005, p.538).

Prácticas de laboratorio en la asignatura de máquinas eléctricas en la CUC

La Universidad de la Costa en el programa de eléctrica consta de un laboratorio de máquinas eléctricas con veinte (20) puestos organizados en cinco grupos de cuatro alumnos (Ver figuras 1 y 2).



Figura 1. Fotografía del laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad de la Costa, por N. Castro, 2016.



Figura 2. Fotografía de alumnos en práctica de laboratorio de máquinas Eléctricas Universidad de la Costa, por N. Castro, 2016.

A través de estas prácticas se les permite a los estudiantes conocer cuáles son los diferentes tipos de máquinas eléctricas y familiarizarse con las características fundamentales de construcción, diseño, cálculo y modos de funcionamiento de cada una de ellas.

A continuación se describen las prácticas de Laboratorio de máquinas eléctricas que se desarrollan actualmente en la Universidad de la Costa con sus respectivos objetivos.

(Los equipos y materiales utilizados para cada una de las prácticas, además los haceres de los estudiantes de cada una de estas experiencias se encuentra especificados en los anexos 2 al 17).

Tabla 1

Títulos de las prácticas de máquinas eléctricas y sus objetivos

No	Título	Objetivo
1	Motor de Potencia Fraccionaria, Partes, Principios de Funcionamiento	Identificar todas y cada una de las partes mecánicas y eléctricas de un motor de potencia fraccionaria

		<p>midiendo la resistencia en cada uno de los devanados identificados.</p> <p>Entender el proceso dinámico-mecánico de la puesta en marcha de un motor de potencia fraccionaria utilizando dos devanados que tienen diferencia entre sus parámetros resistivos e inductivos.</p>
2	Puesta en Marcha de un Motor de Potencia Fraccionaria por Diferencia de Resistencia	
3	Puesta en Marcha Con Capacitor de Arranque de un Motor de Potencia Fraccionaria	<p>Analizar el funcionamiento de la puesta en marcha de un motor de potencia fraccionaria utilizando un capacitor de arranque</p>
4	Motor de Potencia Fraccionaria Con Capacitor Permanente	<p>Analizar la puesta en marcha y funcionamiento de régimen para un motor de potencia fraccionaria, utilizando capacitor permanente conectado a su devanado.</p>
5	Motor Universal	<p>Analizar las partes de un motor universal y su principio de funcionamiento.</p>
6	Motor de Inducción Polifásico, Generalidades	<p>Identificar y diferenciar las partes de un motor trifásico y compararlas con un motor monofásico.</p>
7	Puesta en Marcha a Pleno Voltaje del Motor Asíncrono	<p>Analizar la puesta en marcha a plena tensión de un motor asíncrono</p>
8	Puesta en Marcha del Motor Asíncrono con Tensión Reducida	<p>Analizar la puesta en marcha con tensión reducida para un motor asíncrono</p>
9	Estudio de Eficiencia en Motor de Inducción	<p>Calcular las pérdidas (eficiencia) de un motor de inducción.</p>
10	Variación de Velocidad del Motor de Inducción Por Frecuencia	<p>Estudiar el comportamiento del motor de inducción, controlado por variador de frecuencia</p>

11	Motor de Inducción como Generador asíncrono	Analizar el comportamiento del motor de inducción como generador asíncrono.
12	Maquina Síncrona, Partes Constitutivas, Principio de Funcionamiento	Conocer las partes de una maquina síncrona y su principio de funcionamiento
13	Puesta en Marcha de la Maquina Síncrona como Motor	Conocer el proceso para hacer funcionar una maquina síncrona como motor
14	Máquinas de Corriente Directa. Partes. Principio de Funcionamiento.	Identificar los diferentes tipos de máquinas de corriente continua y su utilización.
15	Máquina de Corriente Directa como Motor. Control por Armadura	Conocer el principio de funcionamiento de una máquina de cc y su corriente de armadura
16	Máquina de Corriente Directa como Motor. Control por Campo	Conocer el principio de funcionamiento de una máquina de c.c. y su control de corriente por campo

Nota: Títulos de las prácticas de máquinas eléctricas y sus objetivos, por N. Castro, 2016.

Con las prácticas se obtienen los resultados de aprendizaje siguientes:

1. Diseño de circuito equivalente motor monofásico
2. Comportamiento de la corriente de arranque motor monofásico
3. Comportamiento de diferencias de corriente entre marcha y arranque de motores eléctricos con capacitor de arranque
4. Cálculos de diferencias de corriente entre marcha y arranque de motores eléctricos
5. Análisis de Velocidad y par arranque en motor universal
6. Características funcionamiento motor trifásico
7. Análisis y cálculos del arranque y marcha motor de inducción trifásico
8. Análisis del motor de inducción a tensión reducida

9. Cálculos de pérdidas y eficiencia en motor eléctricos (en vacío)
10. Graficas del comportamiento del motor al variar su velocidad
11. Análisis del motor de inducción como generador
12. Análisis, características y velocidad de la maquina sincrónica
13. Calculo circuito equivalente maquina sincrónica
14. Análisis del motor de corriente continua y su utilización.
15. Calculo y análisis de una máquina de cc y su control de armadura
16. Cálculo y análisis de una máquina de cc y su control de corriente por campo.

Con base a las guías de prácticas de laboratorio de máquinas eléctricas, se puede observar que todas conducen a la investigación y el análisis de las maquinas eléctricas tanto de corriente alterna como de corriente directa. Se comprueba además que se cumple con los cuatro principios referidos anteriormente, estos son: “la fase de diseño y planificación, la fase de realización, la fase de reflexión y la fase de registro y elaboración del informe” (Hodson, 1994, p.308).

No obstante todas las prácticas se hacen en vacío o sin carga por carencia de algunos materiales, lo que impide realizar análisis de eficiencia en los motores eléctricos. A continuación se explica la importancia de analizar la eficiencia energética en los motores eléctricos.

Importancia del análisis de la eficiencia energética en motores eléctricos

El programa internacional de motores eléctricos y sistemas anexos EMSA, en sus investigaciones estima que los sistemas con motor eléctrico utilizan el 45% de la electricidad mundial. La empresa de motores eléctricos ABB plantea que esta tendencia aumenta en 10%

anualmente y que el 90% de los motores eléctricos instalados en el mundo funcionan continuamente a plena velocidad aunque utilizan accionamientos para regular esa salida. Así mismo, alrededor del 50% de los motores eléctricos del mundo se encuentran en USA, la Unión Europea y la China. (ABB, 2015). En términos energéticos sobre las máquinas eléctricas los expertos indican que:

Los motores eléctricos consumen entre el 30 - 80% de la energía industrial total en el mundo. El estudio estima la viabilidad económica de reemplazar los motores rebobinados y estándares con motores de alta eficiencia (HEM) en la industria. Expresan que la eficiencia de estos se degrada cuando se rebobina y es mejor hacerlo con motores grande que con los pequeños. Se encontró que un HEM puede ahorrar en promedio 5,5% de energía en comparación con un motor estándar y la recuperación de la inversión es razonable cuando un motor funciona a una carga mayor del 50%. Los HEM ahorran una cantidad de energía y minimizan las emisiones. Los expertos estiman que se pueden ahorrar 67.868 MWh / año de energía y US \$ 4.343.531 al año mediante la introducción de HEMs y se reducirán 44.582 toneladas de CO₂, 333 toneladas de SO₂ y 122 toneladas de emisiones de NO_x. (Hasanuzzaman, *et al.*, 2010, p.1).

Según el Blog Todoproductividad (2011), los motores eléctricos inciden en los pagos en gran escala en las facturas de energía y es por eso que su eficiencia merece atención. Muchas veces los motores están desalineados o sobredimensionados para la carga que tiene previsto servir. Muchas veces se plantea la necesidad de sustituir motores como forma de ahorrar energía pero no se tiene claro los costos de operación y el ahorro real que se consigue aplicando tal medida. Para calcularlo se necesita determinar las horas de operación, los valores de mejora

de la eficiencia y la carga. La carga parcial es un término usado para describir la carga actual servida por el motor en comparación con la capacidad nominal (p.1).

Londoño y Ramírez (2013) expresan que:

La eficiencia del motor eléctrico implica dos conceptos: Primero, un procedimiento de prueba mediante el cual se puede calcular el rendimiento energético del motor, validado en un laboratorio de ensayos acreditado y segundo, un límite establecido sobre el consumo de la energía, aceptado mundialmente como normas de desempeño energético mínimo MEPS (p.125).

Por lo tanto, la eficiencia del motor tiene una consecuencia directa sobre los resultados finales y es por eso que el sector industrial se está esforzando más que nunca por reducir el consumo energético y aumentar la eficiencia de los motores mediante la introducción de iniciativas principalmente ecológicas.

El control energético de los motores de inducción a nivel mundial según Londoño y Ramírez (2013), está cubierto de normas técnicas internacionales, regionales y nacionales de clasificación, de procedimientos de prueba y de etiquetado de la eficiencia energética de motores de inducción. Algunas de ellas son, internacionales: IEEE 112, IEC 60034-30, NEMA MG-1, Directiva Europea 640/2009; regionales: APEC, CEMEP, CROSQ, COPANT, CEN; y nacionales: AS/NZS 1359.5, NTC 5105, IRAM 62405, JSC4210-4212, CSA 390-10, NBR 17094-1, GB 18613, GB/T 1032, ABNT, NCh 3086, NOM 016 (p.125).

Todas estas iniciativas sobre eficiencia en algunos países se han convertido en leyes de ahí que los expertos en equipos de medición al detectar motores con rendimiento deficiente o con averías y proceder a su reparación o sustitución, pueden controlar el consumo y la eficiencia

energética. “Los análisis de calidad eléctrica y de motores ofrecen datos que permiten identificar y confirmar el consumo excesivo de energía y las ineficiencias. Además, los mismos datos analíticos pueden verificar las mejoras logradas mediante reparaciones o sustituciones” (Fluke Corporation, 2016, p.1).

En Colombia se ha ido avanzando en materia de investigación de eficiencia energética de las máquinas eléctricas, no solo a nivel educativo e industrial sino gubernamental, por intermedio de los ministerios, teniendo en cuenta que internacionalmente se viene regulando por medio de la expedición de nuevos reglamentos técnicos que controlen el uso de las máquinas eléctricas.

El objetivo es comparar la eficiencia energética de motores de inducción entre los países de Latinoamérica y los países de las grandes economías del globo, considerando cuatro aspectos: el estado actual de las normas de clasificación y procedimientos de prueba de la eficiencia de motores de inducción, los acuerdos multilaterales de reconocimiento mutuo, la infraestructura para realizar los ensayos de la norma y los programas de apoyo al mejoramiento de la eficiencia de los sistemas accionados por motores eléctricos. El estudio revela que América Latina presenta un atraso considerable en la implementación de las normas de clasificación y métodos de ensayo de la eficiencia de motores eléctricos, más ampliamente usadas en el mundo (Londoño y Ramírez, 2013, p.118).

Para evaluar el análisis energético de las máquinas eléctricas es importante conocer los parámetros eléctricos obtenidos en las prácticas de laboratorios así como los cálculos matemáticos para la determinación de sus características operacionales; mientras que en una tesis el autor estima los parámetros de los motores eléctricos para el análisis de eficiencia

energética en condiciones industriales, donde a diferencia de las condiciones de laboratorio, los armónicos, la frecuencia y el resto de las magnitudes eléctricas, varían según las condiciones del sistema eléctrico. Los resultados son validados con pruebas de laboratorio. (Sousa, 2013).

Verucchi, *et al.* (2013), describen que debido a la crisis energética de los últimos años los países se han visto obligados a revisar los consumos, además de regular y reglamentar el uso de las cargas eléctricas especialmente los motores debido a su alto porcentaje en el consumo industrial en el mundo. Por eso se han incrementado los estándares de eficiencia para máquinas eléctricas proporcionados por la normativa. Se han definido categorías para identificar el motor en función de sus pérdidas. Aparte de los beneficios ecológicos impuestos por las recientes regulaciones, el uso de las nuevas generaciones de motores de inducción de alta eficiencia es atractivo desde el punto de vista económico.

En Latinoamérica y específicamente en Colombia, se trabaja en materia de eficiencia energética. El proceso regulatorio respecto a la eficiencia productos de uso final de energía, surgió con el proyecto de reglamento técnico de etiquetado de productos RETIQ, el cual incluye en el anexo E los métodos de ensayo para determinar la eficiencia de los motores (Londoño y Ramírez, 2013, p.1).

Un motor eléctrico funcionará más eficiencia si la red que lo alimenta esta balanceada y sin distorsiones pero según Quispe (2003), si la red es deficiente, presenta desbalances y sobretensiones, la maquina presentará pérdidas. En tal caso se aplica la norma IEC de mantener los niveles de tensión de cinco por ciento; en la NEMA el diez por ciento la tensión nominal. Si hay caídas debajo de los porcentajes aumenta las perdidas en el cobre; si hay sobretensiones por encima de esos los porcentajes aumentara las perdida del hierro y afecta el factor de potencia.

Se debe disminuir el desbalance de tensiones de las fases. Las Normas NEMA e IEC recomiendan un desbalance de tensión a 1%, éste puede traer un desbalance de corriente del 10%. El desbalance disminuye la eficiencia. El factor de potencia debe oscilar entre el 75 y 100% de la potencia nominal, se debe disminuir los armónicos de la red. Los armónicos de tensión crean los de corriente, causando calentamiento y vibración en su operación. El THD de corriente y voltaje debe ser menor del 5%. Por lo tanto, la buena operación del motor implica el mejoramiento de la calidad de la red, se logra regulando el punto de operación de los transformadores, redistribuyendo cargas y aplicando filtros pasivos o activos para la eliminación de armónicos. Así mismo, el motor debe ser de la potencia calculada y será eficiente dependiendo de las cargas las cuales pueden ser:

A. Servicio continuo, carga constante: se conoce el valor de potencia de la carga se usa el método directo y se busca en el catálogo un motor de potencia igual o superior a la de carga.

B. Servicio continuo, carga variable: la carga variable se aplica el cálculo de potencia equivalente, los siguientes métodos:

- Pérdidas promedio
- Corriente equivalente
- Momento equivalente
- Potencia equivalente

Estos métodos permiten hallar la potencia equivalente que requiere el motor. Cuando no se aplican, la potencia seleccionada por el motor resulta excesiva y el factor de potencia es bajo, con la consecuencia de un aumento en la corriente y la modificación de su eficiencia. (Quispe, 2003).

Lo importante es determinar las características de cada sistema con base a las nuevas tecnologías de tal forma que los desajustes no produzcan pérdidas en la maquina resultando en disminución de su eficiencia.

Las clases de carga y los porcentajes de la energía que según Quispe (2003) para motores de 300 Kw de la Oficina de Consultas de Eficiencia Energética ETSU Ahorro de energía con motores eléctricos y accionamiento de Oxfordshire U.K., son: (ver tabla 2).

Tabla 2

Consumo de energía por motores de inducción hasta 300 kw

Tipo de Carga	Porcentaje de Energía
Bombas	32%
Ventiladores	23%
Bandas transportadoras	15%
Compresores diversos (no aire)	14%
Compresores de aire	8%
Otros tipos de carga	8%

Nota: Consumo de energía por motores de inducción hasta 300 kw., por E. Quispe, 2003.

Lo anterior demuestra la importancia de analizar la eficiencia energética en las prácticas de laboratorio de la asignatura maquinas eléctricas de la CUC, tal como se hace en instituciones universitarias de alta calidad a nivel nacional e internacional, referido en el próximo capítulo.

Capítulo 2

Prácticas de laboratorio de máquinas eléctricas en universidades nacionales

En este capítulo se describen los aspectos fundamentales de las prácticas de laboratorio de máquinas eléctricas que se desarrollan en universidades de alta calidad y que se enfocan en la eficiencia energética.

En el programa de ingeniería eléctrica de la universidad nacional de Medellín el laboratorio de máquinas eléctricas desarrolla las prácticas apoyadas en “la metodología CDIO (Concebir, Diseñar, Implementar, Operar), con nuevas tecnologías que incluyen la integración de equipos y sistemas alrededor de máquinas eléctricas: maquinas rotativas alimentadas por convertidor de frecuencia (...)” (Téllez y Rosero, 2013, p.53), en este sentido se abarcan los conceptos de eficiencia, calidad de energía en la operación de motores eléctricos.

La Universidad Industrial de Santander UIS, por su parte le declaran dentro de sus fortalezas para los procesos de acreditación de sus programas, “la dotación de laboratorios y otros apoyos de los procesos académicos, en especial los orientados a la amplia utilización de las TICs” (CNA, 2016). En visita realizada el 1 de julio de 2016 a su laboratorio de máquinas eléctricas, se evidencia la fortaleza de las prácticas en el sentido de que estas se enfocan en el análisis de las maquinas enfatizado en eficiencia al operar los motores eléctricos con diferentes cargas y los equipos adecuados. En las figuras 3 y 4 se muestran vistas del laboratorio.



Figura 3. Fotografía de laboratorio de máquinas eléctricas UIS de Bucaramanga, Santander, por N. Castro.



Figura 4. Fotografía del laboratorio de máquinas eléctricas de la UIS Bucaramanga, Santander. Motores acoplados, por N. Castro.

La universidad Autónoma de Occidente UAO de la ciudad de Cali en su fortalezas de acreditación por parte del Consejo Nacional de Acreditación expresan: “Los laboratorios en cantidad y calidad para apoyar el desarrollo curricular y que soportan adecuadamente las actividades de docencia, investigación y proyección social ajustados a la naturaleza de la disciplina del programa y de la institución” (CNA, 2016). Se evidencia la importancia de los laboratorios para acreditar programas. La figura 5 muestra los alumnos de la UAO en el laboratorio de máquinas eléctricas.



Figura 5. Fotografía tomada de Luisa Jaramillo a los estudiantes del semillero de electrónica, potencia y máquinas eléctricas desarrollando investigaciones en los laboratorios de la universidad autónoma de Occidente en Cali, Valle del Cauca. Recuperado de [http:// www.elpais.com.co/cali/los-semilleros-un-espacio-para-la-investigacion-en-las-universidades-de.html](http://www.elpais.com.co/cali/los-semilleros-un-espacio-para-la-investigacion-en-las-universidades-de.html)

El laboratorio de máquinas eléctricas de la universidad nacional de Medellín, le brinda servicios a los estudiantes y la industria en el área de la utilización de la energía eléctrica, maquinas sincrónicas, asincrónicas y de corriente continua y cuenta con cuatro salas dotadas con mesas de trabajo, instalaciones eléctricas, diseñadas con los distintos componentes para llevar a cabo las diferentes prácticas que realizan los estudiantes de las carreras de ingeniería eléctrica e ingeniería de control, además de la comprobación de leyes eléctricas, caracterización de máquinas eléctricas. En sus políticas de calidad está el utilizar la norma y personal entrenado en la misma para la acreditación como laboratorio de ensayos y calibración. (UNAM, 2016).
Alumnos en laboratorio de máquinas (ver figura 6) de la universidad nacional de Medellín.



Figura 6. Fotografía del Laboratorio de máquinas y mediciones universidad nacional de Medellín. Antioquia. Recuperado de <http://minas.medellin.unal.edu.co/laboratorios/index.php/laboratorio-energia-electrica-y-automatica/laboratorio-de-maquinas-y-medidas-electricas>.

Prácticas de laboratorio de máquinas eléctricas en universidades internacionales.

La universidad de Michigan, ubicada en los Estados Unidos de América, realiza prácticas de laboratorios de máquinas eléctricas (figura 7) “enfocada en la investigación por medio de las prácticas en sus diez puestos de trabajo más cinco estaciones adicionales; estas últimas para comprobaciones con carga de las maquinas eléctrica, compuestas por bancos de prueba con dinamómetros” (Electrical and Computer Engineering, 2016), instrumentos necesarios para medir el par, la potencia y la velocidad del rotor del motor eléctrico.



Figura 7. Fotografía de laboratorios universidad de Michigan USA.
Recuperado de <http://www.wmich.edu/electrical-computer/energy>

La universidad tecnológica de Sídney, Australia UTS, emplea un modelo de enseñanza de las maquinas eléctricas basado en su eficiencia a través de dos herramientas tecnológicas de muchas importancia como lo son el Matlab y el Simulink, por medio de estas estrategias o medios, se abordan las cuestiones de la variable de velocidad y la eficiencia energética, se presenta la simulación numérica de varios sistemas de accionamiento moderno. El tema es impartir a través de conferencias, tutoriales, experimentos de laboratorio y asignaciones. Los estudiantes también están obligados a realizar cuatro laboratorios para medir los parámetros y el rendimiento de varias máquinas eléctricas y cuatro asignaciones para la simulación numérica de varias máquinas eléctricas y sistemas de accionamiento. Cada actividad monitoreada por expertos de estas herramientas tecnológicas con el propósito de que el aprendizaje del sea centrado en las eficiencia maquinas eléctricas. (Manual universidad tecnológica de Sidney, 2016).

Los objetivos en las prácticas de laboratorio de máquinas eléctricas en la UTS son:

1. Identificar, interpretar y analizar las necesidades de las partes interesadas de las máquinas eléctricas y sistemas de accionamientos
2. Practicar el buen juicio, la gestión de recursos y el trabajo dentro de restricciones y especificaciones difíciles a través del trabajo de laboratorio.
3. Aplicar la experiencia técnica para identificar, analizar y resolver problemas técnicos en máquinas eléctricas y sistemas de propulsión y para aplicar los conocimientos en la industria.
4. Seguir el nuevo desarrollo tecnológico en el campo de las máquinas eléctricas y de los sistemas de propulsión, y aplicar nuevas tecnologías en su trabajo futuro.
5. Ser hábil en la escritura técnica y la presentación de la tecnología de la máquina eléctrica y las habilidades de trabajo en equipo en el laboratorio.
6. Estar al tanto de las perspectivas globales (necesidades, reglas / regulaciones y especificaciones). (Manual universidad tecnológica de Sídney, 2016).

La universidad estatal del sureste de Missouri, Estado Unidos de América en su programa de tecnología de la ingeniería enfoca su enseñanza en aplicaciones de técnicas científicas y de ingeniería a problemas del mundo real. Aplicación es la palabra clave puesto que enfatiza en las aplicaciones prácticas y la teoría. Propone el uso del laboratorio práctico de las maquinas eléctricas y de tecnología avanzada como fortaleza académica de aprendizaje, cuando expresa en sus objetivos que sus alumnos deben ser educado en las técnicas avanzadas de diseño e instalación de sistemas utilizando tecnologías innovadoras, de última generación reforzadas a lo largo del programa por experiencias de laboratorio integrados. (Engineering Technology: Electrical And Control, 2016).

En un artículo del instituto de ingeniería y tecnología IET, de la universidad JK Lakshmipat JKLU en Jaipur Rajasthan, India donde se forman ingenieros eléctricos Sandeep (2016) resalta los laboratorios como la parte activa del aprendizaje del alumno, cuando conceptualiza que hay factores que se pueden aprender durante el trabajo en un laboratorio como por ejemplo:

- El diseño: pueden construir
- La creatividad: demuestran niveles de pensamiento
- Trabajo en equipo: adquieren responsabilidad conjunta
- Comunicación efectiva: pueden comunicarse eficazmente.
- Ética: comportarse ética e integralmente.
- Análisis de datos: adquieren capacidad analizar e interpretar.

En síntesis en el laboratorio el estudiante desarrolla habilidades desde el hacer, la observación y construye conocimiento.

La universidad Pakistán, la DHA Suffa University, que cuenta con pregrado, maestrías y doctorados en ingeniería eléctrica, las prácticas de laboratorio constituyen una estrategia fundamental para la formación del ingeniero la cual se fortalece en actividades de diseños modernos o tecnológico también le brindan oportunidad de explorar y aprender a prepararse para el entorno industrial. Además estos laboratorios (ver Figura 8) “se componen de los últimos entrenadores de máquinas eléctricas que aportan a estudiantes conocimientos en motores de corriente alterna, motores y generadores de corriente continua e instrumentación y

sistemas de simulación de última tecnología” (engineering labs., DHA suffa university, Pakistán, 2016).



Figura 8. Fotografía de Engineering Labs, DHA Suffa University en Karachi, Pakistán. Recuperado de <http://www.dsu.edu.pk/index.php/en/facilities-and-services/it-infrastructure>.

En los laboratorios de la universidad de Texas y Dallas, Estados Unidos de América, con la temática “Muestra potente, posible paso siguiente en motores eléctricos” los dr. Wei Wang y el dr. Babak Fahimi, (ver Figura 9), participaron en una importante conferencia demostrando una tecnología de tipo energético.

Los dos ingenieros soportados en sus investigaciones presentaron los motores eléctricos o generadores que eliminan metales de tierras raras. Los motores típicos son alimentados a través de la interacción electromagnética entre un rotor que contiene metales de tierras raras y rota y un estator que es estacionario, pero alberga fuentes electromagnéticas. La llamada máquina de reluctancia conmutada de doble estator (DSSRM) tiene dos estatores, uno a cada lado del rotor que causa una reacción electromagnética que produce energía. Este produce una potencia y un par de torsión significativamente mayores con un tamaño y un peso dado

que las tecnologías motoras tradicionales sin el uso de imanes permanentes. Con esta demostración se comprueba la nueva tecnología de motores eléctricos con un tipo de configuración que resulta magnéticamente y prácticamente novedosa con respecto al principio de funcionamiento del motor eléctrico actual. Esta nueva tecnología aparte de ser energía renovable, también reduce la contaminación del medio ambiente y brinda más potencia y torque. (Wang y Fahimi, 2014).

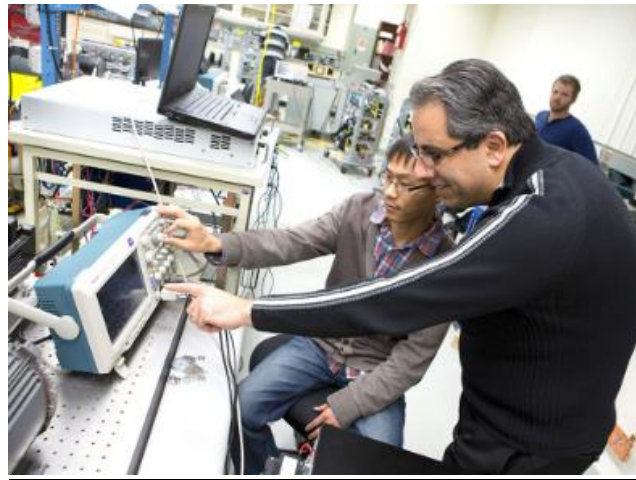


Figura 9. Fotografía de los doctores Wei Wang y Babak Fahimi, en el laboratorio de tecnología renovable y vehículos (REVT) Universidad de Dallas y Texas, E.U. Recuperado de https://www.utdallas.edu/news/2014/5/16-30081_Lab-Shows-Powerful-Possible-Next-Step-in-Electric-_story-wide.html.

Una de las universidades más antigua de Escocia es la de Glasgow y de mayor renombre en Reino Unido en materia de investigación realizó una publicación en el año 2014 con base en la transformación del diseño de los motores eléctricos por medio de software llamado SPEED, desarrollado por ellos en sus laboratorios de electrónica de potencia y electricidad, el cual ha aportado gran cantidad de motores eléctricos nuevos a la industria como resultado de las investigaciones. Este software ha mejorado el diseño de los productos fabricados por más de 60

empresas en todo el mundo. En los años anteriores las máquinas de esas empresas a medida que pasaba el tiempo pedían diseños nuevos de los motores eléctricos para su funcionamiento y es por eso que un ingeniero de motor experimentado podría tomar semanas para desarrollar un nuevo diseño sin saber si el diseño era óptimo. Para los tipos de máquinas más maduras en ese momento, no había ningún paquete de diseño comercialmente disponible. El SPEED superó todas estas dificultades y fue diseñado para una gama de tipos de motores modernos. En conclusión permitió minimizar el tiempo de diseño de motores de mejor calidad para las máquinas industriales y multiplicó para el año 2011 el software a las multinacionales incluyendo la capacitación de empleados para el uso. (University of Glasgow, 2014).

Laboratorios de investigación sobre eficiencia de máquinas eléctricas

El centro de investigación y tecnología medioambiental ubicado en California USA es un laboratorio o centro independiente de pruebas de motores eléctricos capaz de proporcionar evaluaciones a clientes empresariales de la eficiencia energética de los motores eléctricos nuevos o antiguos en condiciones de operación. Los métodos de investigación de este laboratorio se centra en:

En la cuantificación de los residuos de energía debido a: 1) el uso de motores de menor eficiencia, 2) el uso de motores de gran tamaño en empresas existentes, y 3) la selección de motores de gran tamaño en la etapa de diseño arquitectónico e ingeniería de nuevos edificios. Es de vital importancia poner la información a disposición de los consumidores, quienes pueden utilizar la información para tomar decisiones informadas. Un objetivo adicional, aunque a más largo plazo, es trabajar con fabricantes de motores y fabricantes de

equipos originales para producir futuros productos de alta eficiencia y variación de velocidad HVAC que sean probados ahorradores de energía. (Center for Environmental Research and Technology, 2015, p.1).

Capítulo 3

En este capítulo se describe una propuesta para la implementación de prácticas de laboratorio de máquinas eléctricas enfocadas en eficiencia energética.

Resumen de las prácticas que se necesitan

La propuesta se basa en potencializar con nuevos dispositivos el laboratorio de máquinas del programa de eléctrica teniendo en cuenta la experiencia de otros laboratorios de múltiples usos. Con la práctica se analiza la potencia mecánica, el par y la velocidad en vacío y los motores en varios escenarios. Se analizan además las características de la calidad de la energía eléctrica, para evaluar el rendimiento.

Los instrumentos de análisis de motores que posee el laboratorio de máquinas eléctricas facilitan el diagnóstico de problemas en motores en funcionamiento al simplificar significativamente el proceso y reducir el número de componentes e instrumentos necesarios para tomar decisiones de mantenimiento fundamentales. Por ejemplo, los analizadores de calidad eléctrica y eficiencia Fluke y Dranetz que posee el laboratorio permiten a los estudiantes de ingeniería eléctrica comprobar el rendimiento de los motores eléctricos y evaluar la calidad eléctrica al efectuar medidas en la entrada trifásica del motor y que solo bastaría con implementar algunos materiales o equipos para incrementar las pruebas u ensayos que determinen la eficiencia de las máquinas.

Recursos necesarios

Para la implementación del proyecto se requieren y están en proceso de pedidos para el presupuesto 2017 los siguientes materiales y equipos:

- 3 Motores Trifásicos de 1,1 kW De Lorenzo referencia DL1021
- 2 Motores síncronos 1.1 kW De Lorenzo referencia DL1026A
- 2 Transformadores 1 kVA De Lorenzo referencia DL 1080
- 5 Motores de fase dividida 1.1 kW De Lorenzo referencia DL1028
- 5 Motores Universal 0,3 kW De Lorenzo referencia DL 1029
- 3 Módulos de cargas Inductivas De Lorenzo referencia DL 1017L
- 3 Módulos de cargas Capacitivas De Lorenzo referencia DL 1017C
- 3 Módulos de cargas Resistivas De Lorenzo referencia DL 1017R
- 3 Base Universal De Lorenzo referencia DL 1013A
- 2 Medidor del Par De Lorenzo referencia DL 2006CN
- 2 Celdas de Carga De Lorenzo referencia DL 2006E
- 2 Frenos de Corrientes Parasitas De Lorenzo referencia DL 1019M
- 10 Kits de Cables de Conexión De Lorenzo referencia DL 1155A-SC.

Análisis económico de la implementación

Para puesta en marcha del proyecto se cotizaron los equipos con la empresa “NUEVOS RECURSOS” proveedor de los productos para laboratorios de calidad “DE LORENZO” con el siguientes costo total en pesos colombianos \$ 226.841.480 con el IVA incluido.

Los productos De Lorenzo, son laboratorios de calidad y la universidad ya posee un alto porcentaje de ellos en referencia a otras marcas, por lo tanto los propuestos en el proyecto complementa el inventario existente del mismo fabricante.

Tabla 3

Cotización

Cantid.	Descripción	V/ Unitario Sin IVA 16%	V/Total Sin IVA 16%
3	MOTOR DE JAULA Marca: De Lorenzo Referencia: DL 1021 Motor de inducción con devanados trifásicos en el estator y con jaula de ardilla anegada al rotor. Características técnicas: • Potencia: 1.1 kVA • Tensión: 220 /380 V Δ/Y • Corriente: 4.3 / 2.5 A Δ/Y • Velocidad: 2870 rpm, 50 Hz Accesorios: DL 2035 CONMUTADOR ESTRELLA - DELTA	3.546.000	10.638.000
2	ALTERNADOR-MOTOR ASINCRONO Marca: De Lorenzo Referencia: DL 1026A Máquina con inductor liso y devanado trifásico inducido en el estator para funcionar sea como alternador que como motor síncrono. Características técnicas: • Potencia: Alternador: 1.1 kVA Motor: 1 kW • Tensión: 220/380 V D/Y • Corriente: 2.9/1.7 A D/Y • Velocidad: 3000 rpm • Excitación: 180 V / 0.47 A	12.236.000	24.472.000
2	TRANSFORMADOR TRIFASICO Marca: De Lorenzo Referencia: DL 1080 Transformador con núcleo de columnas y devanados subdivididos. Posibilidad de uso también como autotransformador. Características técnicas: • Potencia nominal: 1 kVA • Tensión primario: 2 x 190V (fase) • Tensión secundario: 2 x 70V (fase) • Frecuencia: 50/60 Hz	3.627.000	7.254.000
5	MOTOR DE FASES DIVIDIDAS Marca: De Lorenzo	4.054.000	20.270.000

	Referencia: DL 1028		
	Motor asíncrono monofásico de jaula de ardilla: posibilidad de funcionar con condensador externo permanente o solo utilizado para el arranque. Características técnicas: • Potencia: 1.1 kW (0.6 kW) • Tensión: 220 V • Corriente: 9.5 A (7.0 A) • Velocidad: 2880 rpm (2850 rpm), 50 Hz		
5	MOTOR UNIVERSAL Marca: De Lorenzo Referencia: DL 1029 Motor monofásico de conmutador con devanados inductores en serie a los del rotor y en grado de funcionar ya sea con alimentación alterna que continua. Características técnicas: • Potencia: 0.3 kW ac /0.55 kW cc • Tensión: 170 V ac/ 190 Vcc • Corriente: 6 A ac/ 4.5 A cc • Velocidad: 3300 rpm, 50 Hz	8.814.000	44.070.000
3	CARGA INDUCTIVA Marca: De Lorenzo Referencia: DL 1017L • Carga mono-trifásica inductiva, variable de grados. • Potencia máxima: 3 x 300 VAR • Tensión máxima: 220/380 V Δ/Y	5.268.000	15.804.000
3	CARGA CAPACITIVA Marca: De Lorenzo Referencia: DL 1017C • Carga mono-trifásica capacitiva, variable de grados. • Potencia máxima: 3 x 275 VAR • Tensión máxima: 220/380 V Δ/Y	3.406.000	10.218.000
3	CARGA RESISTIVA Marca: De Lorenzo Referencia: DL 1017R • Carga mono-trifásica resistiva, variable de grados. • Potencia máxima: 3 x 400 W • Tensión máxima: 220/380 V Δ/Y	6.138.000	18.414.000
3	BASAMENTO UNIVERSAL Marca: De Lorenzo Referencia: DL 1013A Estructura en tubular de acero barnizado montada sobre soportes antivibratorios en goma, dotada de guías para el anclaje de una o dos máquinas y de cubrejuntas. Completo de dispositivo de bloqueo de rotor de las máquinas asíncronas de anillos para la prueba	2.921.000	8.763.000

	de cortocircuito.		
2	MEDIDOR DE PAR Marca: De Lorenzo Referencia: DL 2006CN	2.429.000	4.858.000
2	CELDA DE CARGA Marca: De Lorenzo Referencia: DL 2006E	1.215.000	2.430.000
2	FRENO A CORRIENTES PARASITAS Marca: De Lorenzo Referencia: DL 1019M	14.181.000	28.362.000
	Sub-Total		195.553.000
	Mas IVA 16%		31.288.480
	Total		226.841.480

Nota: Cotización de productos de laboratorios De Lorenzo, por N. Castro, 2016.

Propuesta de práctica de laboratorio de máquinas eléctricas.

Con los equipos necesarios se pueden realizar varias prácticas que analicen la eficiencia en los motores y entre estas se encuentran:

- Determinación de la curva de la eficiencia en función de la carga.
- Análisis de la eficiencia en el motor operando con desequilibrio de tensión.
- Análisis de la eficiencia en el motor operando con armónicos.
- Análisis de la eficiencia en el motor operando con carga variable.
- Análisis de la eficiencia en el motor operando con armónicos y desequilibrio de tensión.
- Análisis de la eficiencia en el motor operando con cargas variables armónicas y desequilibrio de tensión.
- Evaluación de métodos de estimación de la eficiencia de motores

A continuación se describe como ejemplo un resumen de una guía para realizar la práctica de determinación de la curva de la eficiencia en función de la carga.

Laboratorio N° 01 (Resumen de una guía de ejemplo)

Tema: EFICIENCIA EN MOTOR DE INDUCCIÓN

1. Objetivo:

Determinar la eficiencia de un motor de inducción.

2. Materiales:

Los materiales utilizados en la práctica son:

- Fuente de Tensión Trifásico Regulado
- Multímetro
- Analizador de Red
- Pinza Amperimétrica.
- Freno Magnético
- Control de Electrodinamómetro y Tacómetro Óptico
- Base Metálica Acoplamiento de Motores
- Un Motor de Inducción 3 Fases

3. Procedimiento experimental:

Con los materiales entregados y con la información del motor, realizar las siguientes mediciones y observaciones:

- Realice las medidas de variables eléctricas en vacío del motor bajo análisis.

- Aplicar carga con freno magnético de 25, 50, 75 y 100 %, tomar medidas de parámetros eléctricos y mecánicos respectivos, para cada factor de carga.
- Con base en la literatura complementaria de esta práctica realizar el estudio respectivo de la máquina de inducción para calcular su eficiencia.
- Verificar que tengan toda la información necesaria para realizar el análisis dinámico, eléctrico, las curvas y los datos de placa de la máquina de prueba.

4. Resultados

- Tabla de datos obtenidos
- Gráficos de conexiones y mediciones realizadas, correlacionado esta información con los parámetros obtenidos en la tabla de datos.
- Para calcular la eficiencia aplique formula del deslizamiento y la ecuación de segundo grado.
- Con base a los valores obtenidos, a la teoría consultada, desarrollar las curvas comparativas entre los otros valores y la eficiencia.

A continuación se muestra un ejemplo (tabla 4) de datos obtenidos en una prueba

Tabla 4

Ejemplo de datos obtenidos prueba motor Baldor 1.5 hp.

<i>Pruebas Realizadas</i>					
<i>Parámetros</i>	<i>% Factor de Carga de la prueba</i>				
	25	50	75	100	125
<i>Corriente de línea</i>	2.52	2.90	3.46	4.20	4.86
<i>Factor de potencia (%)</i>	36	57	71	78	83
<i>Velocidad del rotor (rpm)</i>	1787	1774	1762	1749	1736
<i>Potencia de entrada (KW)</i>	0.361	0.658	0.978	1.30	1.60
<i>Potencia de salida (pu's)</i>	0.25	0.50	0.75	1.00	--
<i>Deslizamiento (S)</i>	0.0072	0.0144	0.0211	0.0283	0.0356
<i>Eficiencia medida MD</i>	77.49	85.03	85.76	85.75	--
<i>Eficiencia Calculada Int.²</i>	76.47	84.06	85.76	85.75	85.05
<i>CEESG</i>	80.63	86.11	87.72	87.40	86.41
<i>Eficiencia del Fabricante</i>	79.70	86.40	87.70	87.40	86.70
	<i>% de Error en la Eficiencia</i>				
	25	50	75	100	125
<i>Efi. medida MD Vs. Fabricante</i>	2.770	1.585	2.212	1.887	--
<i>Eficiencia Int.² Vs. Fabricante</i>	4.052	2.708	--	--	1.903
<i>CEESG Vs. Fabricante</i>	1.153	0.337	0.022	--	0.334
<i>Observaciones</i>					
<i>Eficiencia medida MD es la eficiencia medida utilizando el método de deslizamiento</i>					
<i>Eficiencia Calculada Int.²/ Eficiencia del Fabricante Int.² es el cálculo de la eficiencia utilizando la interpolación de segundo grado</i>					
<i>CEESG es la eficiencia calculada con ecuaciones de segundo grado (ANEXO No.3)</i>					

Nota: Ejemplo de datos obtenidos prueba motor Baldor 1.5 hp. Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/1744/1/1020150560.PDF>

Tabla 5

Datos factor carga – eficiencia fabricante – eficiencia medida

<i>Factor de Carga</i>	<i>Eficiencia Fabricante</i>	<i>Eficiencia Medida</i>
(%)	(%)	(%)
25	79,7	77,49
50	86,4	85,03
75	87,7	85,76
100	87,4	85,75
125		
150		

Nota: Datos factor carga – eficiencia fabricante – eficiencia medida. Tomados de la tabla 4, por N. Castro, 2016.

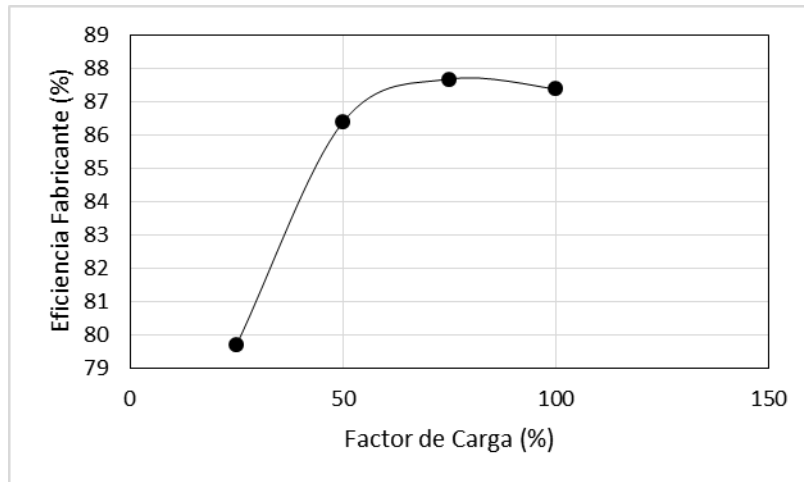


Figura 10. Curva de factor de carga contra eficiencia del fabricante de la tabla 5, por N. Castro, 2017.

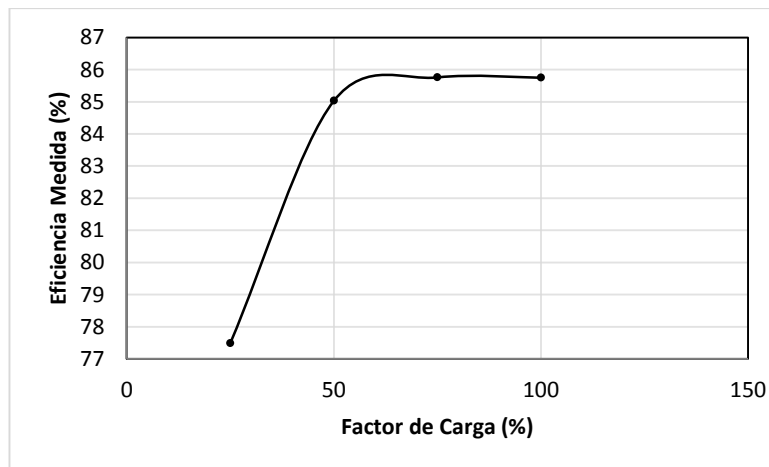


Figura 11. Curva factor de carga contra eficiencia medida de la tabla 5, por N. Castro, 2017.

Estas mediciones también se pueden contrastar con métodos para la estimación de la eficiencia en condiciones de campo como (Sousa, 2014):

Método de placa.

Método del deslizamiento.

Método de la corriente.

Método del momento.

Métodos de optimización.

Uno de estos métodos es el de deslizamiento descrito en Obregón (2005) que plantea que el factor de carga medido con el deslizamiento del motor es aproximadamente proporcional a la carga, por ejemplo, si el motor opera a $\frac{3}{4}$ % de carga es alrededor de un 75 % de su deslizamiento a plena carga, a $\frac{1}{2}$ carga tiene un 50% del deslizamiento a plena carga etc. (esto es debido a que ambas son lineales). La fórmula para calcular la carga de operación a partir del deslizamiento según Obregón (2005) es:

$$(\%) F_c = \frac{\text{Deslizamiento de Operacion}}{\text{Deslizamiento al 100\%}} \times 100$$

Donde:

Deslizamiento de Operación es (Ns – Nr - operación)

Deslizamiento al 100% (Ns - Nr - plena carga)

Por lo tanto, el factor de carga con el método de deslizamiento (FC_{MMD}) es expresado en la siguiente fórmula:

$$FC_{MMD} = \frac{Ns - Nr (\text{operación})}{Ns - Nr (100\% \text{ carga})}$$

Conociendo el factor de carga en la flecha del motor se puede considerar que la potencia de salida será:

$$P_{Sal} = FC_{AVF} \cdot P_{nom}$$

Donde:

FC_{avf} es el factor de carga ajustado por la variación de la frecuencia.

Finalmente el estudiante podrá hallar la eficiencia con bases a la ecuación:

$$\eta = \frac{P_{ent}}{P_{sal}}$$

Donde:

η = Eficiencia

P_{ent} = Potencia de entrada

P_{sal} = Potencia de salida

(p. 50)

5. Conclusiones y aprendizaje de la práctica

- Hacer una relación entre la hipótesis, la introducción y los resultados logrados en la práctica de tal forma que puedan corroborar la teoría manejada sobre el tema desarrollado en esta práctica.
- Identifique la desviación que se presente entre los valores de sus mediciones con sus respectivos cálculos matemáticos y lo que dice la teoría con respecto a la eficiencia de un motor de inducción, exprese la desviación en porcentaje mostradas en las curvas.

Análisis de los resultados de los estudiantes.

Con base a la guía de laboratorio No 1 de ejemplo, el estudiante de acuerdo a los resultados obtenido realiza las actividades siguientes:

- Analiza la variación de la eficiencia con la carga.

- Identifica los puntos de mayor y menor eficiencia en función de la carga.
- Obtiene un modelo matemático de la eficiencia en función de la carga.
- Compara los métodos de obtención de la eficiencia.

Conclusiones

En este trabajo se realizó una propuesta de desarrollo para los laboratorios de máquinas eléctricas del programa de ingeniería eléctrica de la Universidad de la Costa.

Se realizó una caracterización de las prácticas actuales de máquinas eléctricas que se llevan a cabo en la CUC y se observó que no se analiza la eficiencia de los motores. Sin embargo, los estudios de la literatura especializada sobre el impacto de los motores en el consumo de energía global y la experiencia de otras universidades nacionales e internacionales de alta calidad, demostró la necesidad de agregar equipamientos que permitan a los estudiantes e investigadores analizar la eficiencia energética en los motores.

La propuesta realizada contempla la adquisición de dinamómetros, celdas de cargas, bases de motor y cargas inductivas y capacitivas, que permitirán variar la carga de los motores y evaluar la eficiencia en varios escenarios como cargas parciales y en presencia de problemas de calidad de la energía.

Con las nuevas prácticas y guías el estudiante podrá diseñar, planificar, reflexionar, registrar y elaborar informes con lo cual contrasta su experiencia real con las normas y la literatura especializada.

Recomendaciones

Desarrollar las guías de laboratorio de máquinas eléctricas correspondiente a determinados cálculo de eficiencia con base a las técnicas propuestas en este trabajo.

Referencias

- [Fotografía de Luisa Jaramillo Guerrero]. (Laboratorio de máquinas eléctricas, 2015).
Universidad Autónoma de Occidente UAO. Cali, Valle del Cauca. Recuperado de <http://www.elpais.com.co/cali/los-semilleros-un-espacio-para-la-investigacion-en-las-universidades-de.html>
- [Fotografía de Engineering Labs]. (Laboratorios de Ingeniería Eléctrica 2016). DHA Suffa University. Karachi, Pakistán. Recuperado de <http://www.dsu.edu.pk/index.php/en/facilities-and-services/it-infrastructure>.
- [Fotografía de Narciso Castro]. (Laboratório de máquinas eléctricas. 2016). Universidad Industrial de Santander UIS. Bucaramanga, Santander.
- [Fotografía de UNAL] (Laboratorio de máquinas y medidas eléctricas. 2016). Universidad Nacional Medellín UNAL. Medellín, Antioquia.
- ABB, ElectricMotor. Infographic.pdf (2015). Powering the world economy. *The industrial energy challenge*. Recuperado de [http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/ec96823a06519347c12578b500362974/\\$file/ABB_ElectricMotors_infographic.pdf](http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/ec96823a06519347c12578b500362974/$file/ABB_ElectricMotors_infographic.pdf)
- Balog, R. S., Sorchini, Z., Kimball, J. W., Chapman, P. L., Krein, P. T. (2005). Modern Laboratory-based education for power electronics and electric machines. *IEEE Transactions on power systems*, 20 (2), 538. Recuperado de <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=1425543>.
- Barbera, O. y Valdez, P. (1996). Investigación y experiencias didácticas. *El trabajo práctico en la Enseñanza de las ciencias: Una revisión*. Enseñanza de las ciencias, 14(3), 366. Recuperado de <http://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/viewFile/21466/93439Webgraf>
- Blogs Todoproductividad (2011). Determinando eficiencia y carga de los motores eléctricos. Recuperado de <http://todoproductividad.blogspot.com.co/2011/01/determinando-eficiencia-y-carga-de-los.html>.
- Center for environmental research and technology. (2015). *Motor efficiency laboratory*. California, USA: Publishing UCR. Recuperado de <http://www.cert.ucr.edu/services/melb.html.html>

- Durango, P. (2015). *Las prácticas de laboratorio como una estrategia didáctica alternativa para desarrollar las competencias básicas en el proceso de enseñanza aprendizaje de la química*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia. Medellín. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/49497/1/43905291.2015.pdf>.
- Electrical and computer engineering (2016). *Energy conversion laboratory*. Western Michigan University. E.U.: WMU Publishing. Recuperado de: <http://www.wmich.edu/electrical-computer/energy>
- Engineering Labs (2016). *Machines Lab*. Universidad Suffa. Karachi, Pakistán: DHA Suffa Publishing. Recuperado de <http://www.dsu.edu.pk/index.php/en/facilities-and-services/engineering-labs>.
- Engineering Technology (2016). *Electrical and Control*. Universidad estatal del sureste de Missouri. E.U.: Southeast Missouri Publishing. Recuperado de <http://semo.edu/study/engineering-tech-econtrol.html>.
- EVERSOURCE (2016). *Energy efficiency programs*. Connecticut, Massachusetts. E.U.: Eversource Publishing. Recuperado de https://www.eversource.com/responsible_energy/carbon-strategies/Energy-Efficiency-Programs.html.
- Feisel, L. D. y Rosa, A. J. (2005, January). The role of the laboratory in undergraduate engineering education. *Journal of Engineering Education*, 1(94), 121-130. Recuperado de http://web.stanford.edu/group/asee/wikiupload/6/69/Feisel_LabsInEngEd.pdf.
- Fluke Corporation. (2016). *Por qué debería añadir análisis de motores a sus tareas de mantenimiento*. Nota de aplicación. Fluke Madrid, España: Publicado por Cedesa. Recuperado de http://www.cedesa.com.mx/pdf/fluke/Fluke-438-II_nota.PDF.
- Hasanuzzaman, M., Rahim, N.A., Saidur, R. y Kazi, S.N. (2010). Energy savings and emissions reductions for rewinding and replacement of industrial motor. *Energy*, 36(2011), 233-240. Recuperado de: <http://repository.um.edu.my/88030/1/Energy%20Savings%20And%20Emissions%20Reductions%20For%20Rewinding%20and%20Replacement%20of%20Industrial%20Motor.pdf>.
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Investigación y experiencias didácticas*, 12(3), 299 -313. Recuperado de <http://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/21370/93326>.

Institute of Engineering and Technology of JK Lakshmipat University, India. Recuperado de <http://jklu.edu.in/blog/role-of-laboratory-practice-in-engineering-education/>.

Laboratorio de máquinas y medidas eléctricas, (2016). Universidad Nacional de Colombia. Medellín. Recuperado de http://minas.medellin.unal.edu.co/laboratorios/images/lab_minasunal/galerias/Laboratorio_Maquinas_Medidas/Foto5.JPG.

Londoño-Parra, C. M. y Ramírez-Echavarría, J. L. (2013). Normas de eficiencia energética de motores de inducción, ¿Está preparada Latinoamérica?. *Tecnológicas*, (30), 117-147. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0123-77992013000100007&lng=pt&nrm=iso&tlng=es.

Manual universidad tecnológica de Sídney. (2016). *Course description No. 48571 Electrical machines*. Sidney, Australia: UTS Publishing. Recuperado de <http://handbook.uts.edu.au/subjects/details/48571.html>.

Ministerio de Educación Nacional (2016). *CNA, Acreditación de alta calidad*. Recuperado de <https://saces.mineduacion.gov.co/cna/Buscador/FortalezasProg.php?Id=699>.

Ministerio de Educación Nacional (2016). *CNA, Acreditación de alta calidad*. Recuperado de <http://menweb.mineduacion.gov.co/cna/Buscador/FortalezasProg.php?Id=20113>.

Montes, W. (2004). *Prácticas de laboratorio en ingeniería: Una estrategia efectiva de aprendizaje*. Ibagué, Tolima. Publicado por Ilustrados.com. Recuperado de <http://www.ilustrados.com/tema/5944/Practicas-Laboratorio-ingenieria-estrategia-efectiva-aprendizaje.html>.

Obregón, J. E. (2005). Medición de la eficiencia a motores de inducción utilizando el método de deslizamiento (Tesis de maestría). Recuperado de: <http://eprints.uanl.mx/1744/1/1020150560.PDF>.

Quispe, E. y Mantilla, L. (2003). Motores eléctricos de alta eficiencia: Características, ventajas y limitaciones. *El hombre y la máquina*. 12(1), 11-19. Recuperado de <http://ingenieria.uao.edu.co/hombreymaquina/revistas/20-21%202003-2/Una%20vision%20integral.%20E%20Quispe.pdf>.

Quispe, E. (2003). Una visión integral para el uso racional de la energía en la aplicación de motores eléctricos de inducción. *El hombre y la máquina*, (20-21), 52-59. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47812406007>

- Sandeep, T. (2016). *Role of laboratory practice in engineering education*. Rajasthan, India. JK Lakshmipat University Publishing. Recuperado de <http://jklu.edu.in/blog/role-of-laboratory-practice-in-engineering-education/>.
- Sousa, V. (2014). *Procedimiento para determinar la eficiencia de motores asincrónicos en presencia de desbalance y armónicos de tensión*. (Tesis de doctorado). Universidad de las Villas. Santa Clara, Cuba.
- Téllez, S. y Rosero, J. (2013, junio-diciembre). *Implementación de metodología CDIO en el laboratorio de máquina eléctrica*. Revista educación en ingeniería, 23(12), 121-130. Recuperado de <https://www.educacioneningenieria.org/index.php/edi>.
- University of Glasgow (2014). *Transforming the design of electric motors*. Glasgow, Escocia University of Glasgow Publishing. Recuperado de http://www.gla.ac.uk/research/impact/drivingprosperityimpactsinbusinessandinnovation/headline_358183_en.html.
- Verucchi, C., Ruschetti, R. y Kaslauskas, G. (2013). High efficiency electric motors: Economic and energy advantages. *IEEE Xplore* 6 (11), 1325-1331. Doi: 10.1109/TLA.2013.6710379
- Wang, W. & Fahimi, B. (2014). *Lab shows powerful, possible next step in electric motors at summit*. Dallas E.U.: News center UT Dallas Publishing. Recuperado de: https://www.utdallas.edu/news/2014/5/16-30081_Lab-Shows-Powerful-Possible-Next-Step-in-Electric-story-wide.html.

Anexos

Anexo 1

Nombre del equipo	Marca	Cant.
Multímetro	FLUKE - 179	5
Multímetro	FLUKE - 115	4
Pinza Vatímetro	MINIPA	2
Medidor LCR	BK-PRECISION	1
Medidor de vibración digital	LUTRON	1
Anemómetro + higrómetro	LUTRON	1
Medidor de factor de potencia	TIF	1
Medidor de aislamiento análogo	TIF	1
Higrómetro digital	LUTRON	1
Pinza para análisis de armónicos	AEMC	1
Medidor digital de dióxido de carbono	ALNOR	1
Medidor de radiación electromagnética	LUTRON	1
Medidor de tierra con sus picas (teluro metro)	AVO	1
Tacómetro digital fotoeléctrico/contacto	LUTRON	1
Termómetro digital de precisión + cupla tp-100	LUTRON	1
Termómetro digital infrarrojo	LUTRON	1
Pinza voltamperimétrica	LUTRON	1
Luxómetro	LUTRON	1
Anemómetro	LUTRON	1
Pinza voltamperimétrica	FLUKE	5
Medidor de aislamiento (megger)	UNI-T	3

Nombre del equipo	Marca	Cant.
Pinza voltamperimétrica digital	KYORITSU	1
Osciloscopio	PHILIPS	2
Osciloscopio	LEADER	1
Osciloscopio	GOLDSTAR	1
Fuente de corriente continua regulada	DE LORENZO	2
Variador de velocidad	TELEMECANIQUE	1
Variador de velocidad ATV312HU15M3-con 1	SCHNEIDER	4
Motor de 2 hp c/u		
Central de Medidas Digital PM 500	MERLIN GERIN	3
Motor trifásico de 220/440vac (0.6 hp =3)(0.4 HP=2)	SIEMENS	5
Motor monofásico 115 – 220VAC 2 HP-24 A	SIEMENS	1
Motor monofásico 110-220vac	WEG	2
Motor trifásico 220-440vac 1.8 HP	SIEMENS	1
Motor 220vcc	LEROY	1
Motor fase partida 115 vac	ANTRIEBSTECHNI	1
Motor Universal 115v	GENERAL ELECTRIC	1
Motor trifásico 220/440vac	WEG	1
Motor Trifásico 3 HP 220/380vac	GENERIC	1
Transformadores de corriente	CROMPTON	3
Motor Sincrónico 220/380vac 1 kW DL1026	DE LORENZO	1

Nombre del equipo	Marca	Cant.
Motor DC Compound 45v DL10220	DE LORENZO	1
Motor DC Compound 220v DL30220	DE LORENZO	2
Motor Trifásico 220/380vac DL1021	DE LORENZO	2
Motor Capacitor permanente-220vac DL30140	DE LORENZO	2
Reóstato de Arranque DL10200 RHD	DE LORENZO	1
Reóstato de Arranque DL30200 RHD	DE LORENZO	2
Reóstato de velocidad DL10205	DE LORENZO	1
Reóstato de Velocidad DL30205	DE LORENZO	2
Torreclilla-Fuente Variable Trifásica ac/dc DL 1013 M3	DE LORENZO	3
Banco de Transformadores DL1080	DE LORENZO	3
Analizador de RED 435	FLUKE	1
Analizador de RED 382095	EXTECH	1
Analizador de RED Power Visa	DRANETZ	1
Medidor de Aislamiento 5000D-PI	METRISOL	1
Fuentes de C.C. variables 35vcc 1671A	BK PRECISION	3
Fuente de AC /CC -0-220vac/0-35vcc - 2235	PEAKTECH	1
Cautin 25 W 120vac	TMC	3
Compresor de aire	EVANS	1
Tableros eléctricos	GENERICO	3
Tableros accionamientos eléctricos	GENERICO	2
Tablero entrenador de refrigeración	GENERICO	1

Nombre del equipo	Marca	Cant.
Medidor de parámetros de Refrigeración	TESTO	1

Inventario de equipos y medidores del laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad de la Costa

Anexo 2

Práctica 1: MOTOR DE POTENCIA FRACCIONARIA, PARTES, PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Materiales: Un multímetro - Un motor monofásico de corriente alterna.

Hacer del estudiante:

1. Con base en los valores de las mediciones obtenidas en su práctica y la información de la placa del motor, diseñar el circuito equivalente del mismo equipo analizando y definiendo el nombre de cada uno de los devanados.
2. Hacer una relación entre la hipótesis, la introducción y los resultados logrados en la práctica de tal forma que puedan corroborar la teoría manejada sobre el tema desarrollado en esta práctica.
3. Identifique la desviación y exprésela en porcentaje que se presente entre los valores de sus mediciones y cálculos matemáticos y lo que dice la teoría con respecto al Circuito Equivalente de los transformadores.
4. Con base al conocimiento alcanzado con la práctica defina el principio de funcionamiento del motor de potencia fraccionaria.

Anexo 3

Práctica 2: PUESTA EN MARCHA DE UN MOTOR DE POTENCIA

FRACCIONARIA POR DIFERENCIA DE RESISTENCIA

Materiales: - Un multímetro – Una pinza amperimétrica - Una pinza vatímetro - Un motor monofásico de corriente alterna - Tacómetro - Una fuente de tensión regulada ac/dc

Hacer del estudiante:

1. Con base en los valores de las mediciones obtenidas en su práctica anterior (circuito Equivalente) defina el comportamiento de las corrientes en el momento del arranque.
2. Con base a los conocimientos adquiridos en la práctica e investigación realizada, explique el principio que define la puesta en giro de esta máquina eléctrica rotativa.
3. Qué ocurre con el motor si después de estar girando normalmente, el devanado de arranque se daña por alguna circunstancia? Justifique su respuesta.
4. Hacer una relación entre la hipótesis, la introducción y los resultados logrados en la práctica de tal forma que puedan corroborar la teoría manejada sobre el tema desarrollado en esta práctica.
5. Identifique la desviación y exprésela en porcentaje que se presente entre los valores de sus mediciones y cálculos matemáticos y lo que dice la teoría con respecto al “Circuito Equivalente” de los transformadores.

Anexo 4

Práctica 3: PUESTA EN MARCHA CON CAPACITOR DE ARRANQUE DE UN MOTOR DE POTENCIA FRACCIONARIA

Materiales: - Un multímetro – Una pinza vatímetro - Un motor monofásico de corriente alterna, - Tacómetro, - Una fuente de tensión regulada ac – Cables de conexión eléctrica.

Hacer del estudiante:

1. Tabla de datos obtenidos.
2. Especificaciones de equipos e instrumentos utilizados.
3. Gráficos de conexiones o mediciones realizadas en concordancia con la información del ítem 1.
4. Realice el diagrama vectorial del motor con sus dos devanados y sus diferentes valores o parámetros en momento de arranque y en estado de régimen.
5. Comentarios técnicos sobre esta práctica.
6. Elaborar el circuito equivalente con respectivos valores para el motor analizado.
7. Calcular el valor del capacitor para que la corriente de arranque se adelante 90° con respecto a la corriente de marcha.
8. Con base en los valores de las mediciones obtenidas en su práctica anterior, defina el comportamiento de las corrientes en el momento del arranque.
9. Con base a los conocimientos adquiridos en la práctica e investigación realizada, explique el principio que define la puesta en giro de esta máquina eléctrica rotativa.
10. Que ocurre eléctricamente en el motor en el momento del arranque por el uso del capacitor?
11. Hacer una relación entre la hipótesis, la introducción y los resultados logrados en

la práctica de tal forma que puedan corroborar la teoría manejada sobre el tema desarrollado en esta práctica.

12. Identifique la desviación que se presente entre los valores en sus mediciones con cálculos matemáticos contra lo que dice la teoría con respecto al procedimiento de arranque de un motor de potencia fraccionaria con capacitor y exprese esta desviación en porcentaje.

Anexo 5

Práctica 4: MOTOR DE POTENCIA FRACCIONARIA CON CAPACITOR

PERMANENTE

Materiales: - Un multímetro - Una pinza amperimétrica - Una pinza vatímetro

- Un motor bifásico de corriente alterna - Una fuente de tensión regulada ac/dc

Hacer del estudiante:

1. Con base en los valores de las mediciones obtenidas en su práctica, defina el comportamiento de las corrientes del motor en pleno funcionamiento.
2. Con base a los conocimientos adquiridos en la práctica e investigación realizada, explique la diferencia entre el motor con capacitor permanente y el motor con capacitor de puesta en marcha.
3. Con base a las mediciones, observaciones y consulta realizada, defina con sus propias palabras que puede ocurrir con el motor si se llega a dañar el capacitor en plena marcha, justificando su respuesta con un análisis matemático y/o vectorial.
4. Hacer una relación entre la hipótesis, la introducción y los resultados logrados en la práctica de tal forma que puedan corroborar la teoría manejada sobre el tema desarrollado en esta práctica.
5. Identifique la desviación que se presente entre los valores de sus mediciones con cálculos matemáticos contra lo que dice la teoría con respecto al procedimiento de arranque de un motor de potencia fraccionaria con capacitor y exprese esta desviación en porcentaje.

Anexo 6

Práctica 5: MOTOR UNIVERSAL

Materiales: Un multímetro - Una pinza amperimétrica - Una pinza vatímetro - Un motor universal - Un tacómetro - Una fuente de tensión regulada ac/dc

Hacer del estudiante:

1. Con base en los valores de las mediciones obtenidas en su práctica, defina el comportamiento del motor universal.
2. Con base a los conocimientos adquiridos en la práctica e investigación realizada, explique el principio que define el funcionamiento de este tipo de máquina eléctrica dinámica.
3. Con base a las mediciones, observaciones y consulta realizada, defina con sus propias palabras que ocurre con la velocidad y el par de giro de la máquina analizada.
4. Electromagnéticamente que ocurre cuando a un determinado nivel de tensión el motor comienza a girar?
5. Hacer una relación entre la hipótesis, la introducción y los resultados logrados en la práctica de tal forma que puedan corroborar la teoría manejada sobre el tema desarrollado en esta práctica.
6. Identifique la desviación que se presente entre los valores de sus mediciones con respectivos cálculos matemáticos y lo que dice la teoría con respecto al procedimiento de arranque de un motor de potencia fraccionaria con capacitor, exprese esta desviación en porcentaje.

Anexo 7

Práctica 6: MOTOR DE INDUCCIÓN POLIFÁSICO, GENERALIDADES

Materiales: Un Multímetro - Una pinza amperimétrica - Una pinza vatímetro - Un motor de inducción - Partes sueltas de un motor de inducción trifásico.

Hacer del estudiante:

1. Con base en los valores de las mediciones obtenidas en su práctica, defina el principio de funcionamiento del motor asíncrono.
2. Con base a los conocimientos adquiridos explique cuál es el principio de funcionamiento o respuesta de la velocidad en un motor asíncrono.
3. Con base a las mediciones, observaciones y consulta realizada, defina con sus propias palabras el valor de la potencia y el par mecánico desarrollado por la máquina asíncrona.
4. Cómo se puede variar la velocidad mecánica de una máquina asíncrona, explique su respuesta
5. Hacer una relación entre la hipótesis, la introducción y los resultados logrados en la práctica de tal forma que puedan corroborar la teoría manejada sobre el tema desarrollado en esta práctica.

Identifique la desviación que se presente entre los valores de sus mediciones con respectivos cálculos matemáticos y lo que dice la teoría con respecto a los parámetros de una máquina asíncrona, exprese esta desviación en porcentaje.

Anexo 8

Práctica 7: PUESTA EN MARCHA A PLENA TENSION DEL MOTOR

ASÍNCRONO

Materiales: Un multímetro - Una pinza amperimétrica - Una pinza vatímetro - Un motor de inducción - Una fuente de tensión regulada ac/dc

Hacer del estudiante:

1. Con base en los valores de las mediciones obtenidas en su práctica, defina el funcionamiento del motor asíncrono en el momento del arranque
2. Con base a los conocimientos adquiridos explique qué ocurre con la velocidad del rotor al incrementar el par mecánico o de carga aplicado al motor.
3. De igual forma explique el comportamiento de la corriente al trabajar en vacío y al aplicarle carga en el eje.
4. Explique en forma clara y justificada, que ocurre con el motor, si se le aplica una carga que supere la capacidad de la máquina.
5. Qué significado tiene para usted el factor de carga medido en el motor de prueba?
6. Hacer una relación entre la hipótesis, la introducción y los resultados logrados en la práctica de tal forma que puedan corroborar la teoría manejada sobre el tema desarrollado en esta práctica.
7. Identifique la desviación que se presenta entre los valores de sus mediciones con respectivos cálculos matemáticos y lo que dice la teoría con respecto a los parámetros de una máquina asíncrona, exprese esta diferencia en porcentaje.

Anexo 9

Práctica 8: PUESTA EN MARCHA DEL MOTOR ASINCRONO CON TENSIÓN REDUCIDA

Materiales: Un multímetro - Una pinza amperimétrica - Una pinza vatímetro - Un motor de inducción - Un tablero de accionamientos eléctricos

Hacer del estudiante:

1. Tabla de datos obtenidos
2. Especificaciones de equipos e instrumentos utilizados.
3. Gráficos de conexiones y mediciones realizadas, correlacionado esta información con los datos obtenidos y plasmados en el punto 1.
4. Con base a los valores obtenidos, a la teoría consultada y a su juicio técnico, explique el funcionamiento del motor de inducción en el momento de arranque con tensión reducida.
5. Realice una comparación entre el comportamiento de arranque a plena tensión y con tensión reducida.
6. Que puede ocurrir con los valores medidos si el motor se pone en marcha con una carga aplicada al eje.
7. Enuncie casos de uso de “arranque a tensión reducida” y explique por qué se debe utilizar este sistema.
8. Con base en los valores de las mediciones obtenidas en su práctica, defina el funcionamiento del motor asíncrono en el momento del arranque con tensión reducida.
9. Con base a los conocimientos adquiridos explique qué ocurre con la velocidad del rotor al arrancarlo con tensión reducida y compárelo con el arranque a plena tensión.

10. De igual forma explique el comportamiento de la corriente en el momento del arranque utilizando tensión reducida y compárela con el arranque a plena tensión

Anexo 10

Práctica 9: ESTUDIO DE EFICIENCIA EN MOTOR DE INDUCCIÓN

Materiales: Una fuente de tensión regulada ac trifásica - Un multímetro - Una pinza Amperimétrica - Una pinza vatímetro - Un motor de inducción.

Hacer del estudiante:

1. Tabla de datos obtenidos
2. Especificaciones de equipos e instrumentos utilizados.
3. Gráficos de conexiones y mediciones realizadas, correlacionado esta información con los datos obtenidos y plasmados en el punto 1.
4. Con base a los valores obtenidos, a la teoría consultada y a su juicio técnico, desarrollar el circuito equivalente del motor analizado.
5. Con base a los valores obtenidos calcule las pérdidas de la máquina bajo análisis
6. Con base en los valores de las mediciones obtenidas en su práctica, defina la eficiencia del motor analizado y discrimine las diferentes pérdidas de la máquina.
7. Con base a los conocimientos adquiridos explique cómo se puede mejorar la eficiencia de un motor de inducción.

Anexo 11

Práctica 10: VARIACIÓN DE VELOCIDAD DEL MOTOR DE INDUCCIÓN POR FRECUENCIA

Materiales: Un multímetro - Una pinza amperimétrica - Una pinza vatímetro - Un motor de inducción - Un variador de frecuencia - Un tacómetro

Hacer del estudiante:

1. Tabla de datos obtenidos.
2. Especificaciones de equipos e instrumentos utilizados, incluido el variador de frecuencia.
3. Gráficos de conexiones y mediciones realizadas, correlacionado esta información con los datos obtenidos y plasmados en el punto 1.
4. Con base a los valores obtenidos, realice gráficos de análisis para el comportamiento del motor bajo la acción del variador de frecuencia.
5. Con base a las definiciones matemáticas de pérdidas en el rotor, relacionados con la velocidad mecánica, sincrónica y deslizamiento, hacer un cálculo de la eficiencia del equipo analizado.
6. Con base en los valores de las mediciones obtenidas en su práctica, defina el comportamiento del motor.
7. Como puede interpretar el efecto de control escalar y control vectorial en la prueba realizada.

Anexo 12

Práctica 11: MOTOR DE INDUCCIÓN COMO GENERADOR ASINCRONO

Materiales: Fuente de tensión regulada ac/dc monofásica y trifásica - Un multímetro - Una pinza amperimétrica - Una pinza vatímetro - Un motor de inducción - Un motor de inducción con variador de velocidad

Hacer del estudiante:

1. Tabla de datos obtenidos.
2. Especificaciones de equipos e instrumentos utilizados.
3. Gráficos de conexiones y mediciones realizadas, correlacionado esta información con los datos obtenidos y plasmados en el punto 6.1.
4. Con base a los valores obtenidos en su práctica, a la teoría consultada y a su juicio técnico, desarrollar el circuito equivalente del motor analizado.
5. Con base a los valores obtenidos desarrolle un análisis del comportamiento del motor de inducción como generador eléctrico trifásico o “generador de inducción”
6. Con base en las mediciones obtenidas en su práctica y los valores de placa, defina un análisis de eficiencia basado en la capacidad original del motor, su velocidad y demás elementos de prueba, en su comportamiento como generador de inducción.
7. Con base a los conocimientos adquiridos explique cómo se puede mejorar la eficiencia del motor al utilizarlo como generador de inducción
8. Hacer una relación entre la hipótesis, la introducción y los resultados logrados en la práctica de tal forma que puedan corroborar la teoría manejada sobre el tema desarrollado en esta práctica.
9. Identifique la desviación que se presente entre los valores de sus mediciones con

sus respectivos cálculos matemáticos y lo que dice la teoría con respecto al comportamiento del motor de inducción jaula de ardilla como generador de inducción, exprese la desviación en porcentaje.

Anexo 13

Práctica 12: MÁQUINA SINCRONA, PARTES CONSTITUTIVAS, PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Materiales: Una máquina síncrona - Un multímetro.

Hacer del estudiante:

1. Tabla de datos obtenidos.
2. Especificaciones de equipos e instrumentos utilizados.
3. Gráficos de conexiones y mediciones realizadas, correlacionado esta información con los datos obtenidos y plasmados en el punto 1.
4. Con base a los valores obtenidos en su práctica, a la teoría consultada y a su juicio técnico, desarrollar el circuito equivalente de la máquina analizada.
5. Con base a los valores obtenidos desarrolle un análisis del comportamiento de la máquina síncrona y su principio de funcionamiento como motor.
6. Con base en las mediciones obtenidas en su práctica y los valores de placa, defina un análisis de eficiencia basado en la capacidad original del motor, su velocidad y demás elementos de prueba, en su comportamiento como motor síncrono, para mejorar el factor de potencia del sistema al cual se encuentra conectado.
7. Hacer una relación entre la hipótesis, la introducción y los resultados logrados en la práctica de tal forma que puedan corroborar la teoría manejada sobre el tema desarrollado en esta práctica.
8. Identifique la desviación que se presente entre los valores de sus mediciones con sus respectivos cálculos matemáticos y lo que dice la teoría con respecto al comportamiento de la máquina síncrona funcionando como motor sin carga.

Anexo 14

Práctica 13: PUESTA EN MARCHA DE LA MÁQUINA SÍNCRONA COMO MOTOR

Materiales: Una máquina síncrona - Un multímetro - Fuente de corriente alterna trifásica - Fuente de corriente continua - Una pinza amperimétrica – Una pinza vatímetro - Un tacómetro.

Hacer del estudiante:

1. Tabla de datos obtenidos.
2. Especificaciones de equipos e instrumentos utilizados.
3. Gráficos de conexiones y mediciones realizadas, correlacionado esta información con los datos obtenidos y plasmados en el punto 1.
4. Con base a los valores obtenidos en su práctica, a la teoría consultada y a su juicio técnico, desarrollar el circuito equivalente de la máquina analizada.
5. Con base a los valores obtenidos desarrolle un análisis del comportamiento de la máquina síncrona como motor.
6. Con base en las mediciones obtenidas en su práctica y los valores de placa, defina un análisis de eficiencia basado en la capacidad original del motor, su velocidad y demás elementos de prueba, en su comportamiento como motor síncrono.
7. Con base a los conocimientos adquiridos explique el cambio de comportamiento energético de la máquina, en la condición inicial (sin alimentación en el rotor) y en la condición final cuando se está alimentando el rotor y girando a velocidad síncrona.
8. Hacer una relación entre la hipótesis, la introducción y los resultados logrados en la práctica de tal forma que puedan corroborar la teoría manejada sobre el tema

desarrollado en esta práctica.

9. Identifique la desviación que se presente entre los valores de sus mediciones con sus respectivos cálculos matemáticos y lo que dice la teoría con respecto al comportamiento de la máquina síncrona funcionando como motor sin carga.

Anexo 15

Práctica 14: MÁQUINAS DE CORRIENTE DIRECTA. PARTES. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

Materiales: Un multímetro - Una fuente de corriente continua variable - Un motor de corriente continua.

Hacer del estudiante:

1. Tabla de datos obtenidos.
2. Especificaciones de equipos e instrumentos utilizados.
3. Explique el fenómeno y principio de funcionamiento ocurrido en la práctica cuando se mueve con la mano el eje del rotor de la máquina de cc.
4. De acuerdo a los valores resistivos y en lineamiento con la teoría existente explique el significado resistivo para cada elemento de la máquina de cc.
5. ¿Qué diferencia existe entre los significados de E y U en el gráfico de esta guía?
6. ¿Qué diferencia existe en la utilización de esta máquina como motor o como generador.
7. Hacer una relación entre la hipótesis, la introducción y los resultados logrados en la práctica de tal forma que puedan corroborar la teoría manejada sobre el tema de máquinas de cc.
8. Identifique la desviación que se presenta entre los valores de sus mediciones con respectivos cálculos matemáticos y lo que dice la teoría con respecto a la máquina de cc. Exprese esta desviación en porcentajes.

Anexo 16

Práctica 15: MÁQUINAS DE CORRIENTE DIRECTA COMO MOTOR.

CONTROL POR ARMADURA

Materiales: Tres multímetros - Una fuente de corriente continua variable - Un motor de corriente continua – Varios cables de conexión eléctrica

Hacer del estudiante:

1. Elabore una tabla de datos con los valores obtenidos en su práctica.
2. Especificaciones de equipos e instrumentos utilizados
3. Tome los datos de placa de la máquina.
4. Sobre un gráfico o esquema de la máquina de cc. Coloque los valores obtenidos
5. Explique el fenómeno ocurrido en la práctica al incrementar la tensión de alimentación a la armadura del motor.
6. Qué relación existe entre la tensión aplicada, corriente y campo de armadura.
7. Qué relación existe entre corriente de armadura y velocidad mecánica del rotor de la máquina.
8. Hacer una relación entre la hipótesis, la introducción y los resultados logrados en la práctica de tal forma que puedan corroborar la teoría manejada sobre máquinas de cc.
9. Identifique la desviación que se presente entre los valores de sus mediciones con respectivos cálculos matemáticos y lo que dice la teoría sobre control de máquinas de c.c. por armadura. Expresé esta desviación en porcentaje.

Anexo 17

Práctica 16: MÁQUINAS DE CORRIENTE DIRECTA COMO MOTOR.

CONTROL POR CAMPO

Materiales: Tres multímetros - Una fuente de corriente continua variable - Un motor de corriente continua – Varios cables de conexión eléctrica

Hacer del estudiante:

1. Elabore una tabla de datos con los valores obtenidos en su práctica
2. Especificaciones de equipos e instrumentos utilizados
3. Tome los datos de placa de la máquina.
4. Sobre un gráfico o esquema de la máquina de cc. coloque los valores obtenidos
5. Explique el fenómeno ocurrido en la práctica al disminuir la tensión de alimentación al campo del motor.
6. Qué relación existe entre la tensión aplicada, corriente y la velocidad de la máquina.
7. Qué pudo observar en la magnitud de la tensión de armadura de la máquina a medida que variaba la magnitud del campo.
8. Hacer una relación entre la hipótesis, la introducción y los resultados logrados en la práctica de tal forma que puedan corroborar la teoría manejada sobre máquinas de cc.
9. Identifique la desviación que se presente entre los valores de sus mediciones con respectivos cálculos matemáticos y lo que dice la teoría sobre control de máquinas de c.c. control por campo.
10. Exprese esta desviación en porcentaje.